

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2010/2011 Academic Session

April/May 2011

ESA322/3 – Structural Dynamics
Dinamik Struktur

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:
ARAHAN KEPADA CALON:

Please check that this paper contains **THIRTEEN (13)** printed pages, **ONE (1)** page appendix and **SIX (6)** questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **TIGABELAS (13)** mukasurat bercetak, **SATU (1)** mukasurat lampiran dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Answer **FIVE (5)** questions.
*Jawab **LIMA (5)** soalan.*

Appendix/Lampiran :

1. Fundamental Equations in Vibration [1 page/mukasurat]

Answer to each question must begin from a new page.

Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.

1. (a) Provide BRIEF answers in words to the following questions:

Jawab soalan-soalan berikut secara RINGKAS:

- (i) What is the difference between free vibration and forced vibration?

Apakah perbezaan di antara getaran bebas dan getaran paksaan?

- (ii) What is viscous damping?

Apakah redaman likat?

- (iii) What is the effect of damping to the frequency of vibration of a free vibrating system?

Apakah kesan nisbah redaman ke atas frekuensi getaran sesuatu sistem getaran bebas?

- (iv) Explain the following terms: Amplitude ratio; Force Transmissibility Ratio; Displacement Transmissibility Ratio.

Terangkan istilah-istilah ini: Nisbah amplitud; Nisbah Kebolehpindahan Daya; Nisbah Kebolehpindahan Anjakan.

(40 marks/markah)

- (b) Consider a bird of 5 kg mass landing at the end of the static helicopter rotor blade as shown in Figure 1(b). Due its momentum, the bird experiences vertical vibration as it grips the blade. Assume that:

Perhatikan seekor burung yang mendarat pada hujung bilah rotor sebuah helikopter yang tertera di dalam Rajah 1(b). Disebabkan oleh momentumnya burung itu mengalami getaran menegak sewaktu ia menggenggam bilah itu. Anggapkan bahawa:

- the bird has a vertical velocity of 10 cm/s as it lands on the rotor blade,

burung itu mempunyai kelajuan menegak sebanyak 10 cm/s ketika ia mendarat,

- the blade has equivalent spring stiffness $k = 100$ N/cm and damping coefficient $c = 0.2$ Ns/cm, and

bilah itu mempunyai kekakuan setara pegas $k = 100$ N/cm dan pekali redaman $c = 0.2$ Ns/cm, dan

- the vibration of the bird on the blade can be modeled as a single degree-of-freedom system.

getaran burung tersebut di atas bilah helikopter itu boleh dimodel sebagai sistem satu darjah kebebasan.

- (i) Find the response of the vibration of the bird. Neglect the mass of the rotor blade.

Tentukan tindak balas getaran burung itu. Abaikan jisim bilah rotor.

- (ii) Sketch the response for the displacement $x(t)$ with at least FOUR cycles.

Lakarkan tindak balas itu bagi anjakan $x(t)$ dengan sekurang-kurangnya EMPAT kitaran.

- (iii) Find the minimum damping coefficient such that the bird would not experience any vibration at all

Tentukan pekali redaman minima di mana burung itu tidak akan mengalami sebarang getaran.

- (iv) Suppose the velocity of the bird is now zero while the initial vertical displacement of the tip of the rotor is 5 mm, sketch and label the new response for at least FOUR cycles.

Andaikan kelajuan menegak burung itu sekarang ialah sifar, manakala anjakan menegak awal pada hujung bilah rotor ialah 5 mm. Lakarkan dan labelkan tindak balas baru bagi anjakan $x(t)$ dengan sekurang-kurangnya EMPAT kitaran.

Rotor blade



Figure 1(b)/ Rajah 1(b)

(60 marks/markah)

2. Consider a washing machine that is operating during a spin cycle with unbalanced wet clothes as illustrated in Figure 2. Assume the clothes basket is attached to the body of the washing machine with equivalent stiffness constant and damping ratio are k and ζ , respectively.

Pertimbangkan sebuah mesin basuh seperti yang tertera di dalam Rajah 2 yang beroperasi pada kitaran basuhan dengan pakaian basah yang tidak seimbang. Anggapkan bakul pakaian disambung kepada badan mesin basuh dengan kekakuan setara pegas k dan nisbah redaman ζ .

- (i) Explain with the aid of a sketch how the unbalanced wash load causes vibration during the spin cycle.

Terangkan dengan bantuan lakaran bagaimana beban basuhan yang tak seimbang menyebabkan getaran sewaktu putaran pengeringan.

- (ii) Let the bundle of unbalanced wet clothes form a mass of 10 kg. The rotating basket is 20 kg and its diameter is 0.5 m. For the equivalent $k = 1 \text{ kN/m}$ and $\zeta = 0.01$, determine the response of the washing basket at the spin cycle speed of 300 rpm.

Andaikan beban basuhan tak seimbang membentuk jisim seberat 10 kg. Bakul yang berputar itu berjisim 20 kg dan bergaris pusat 0.5 m. Bagi nilai setara $k = 1 \text{ kN/m}$ dan $\zeta = 0.01$, tentukan tindak balas bakul itu pada kelajuan kitaran 300 rpm.

- (iii) Estimate the force transmissibility ratio of the rotating basket to the outer body of the washing machine.

Anggarkan keboleh hantaran daya bakul yang berputar itu ke atas dinding mesin basuh.

- (iv) Provide all your assumptions in the modeling of the problem.

Berikan semua andaian yang anda gunakan di dalam permodelan masalah ini.

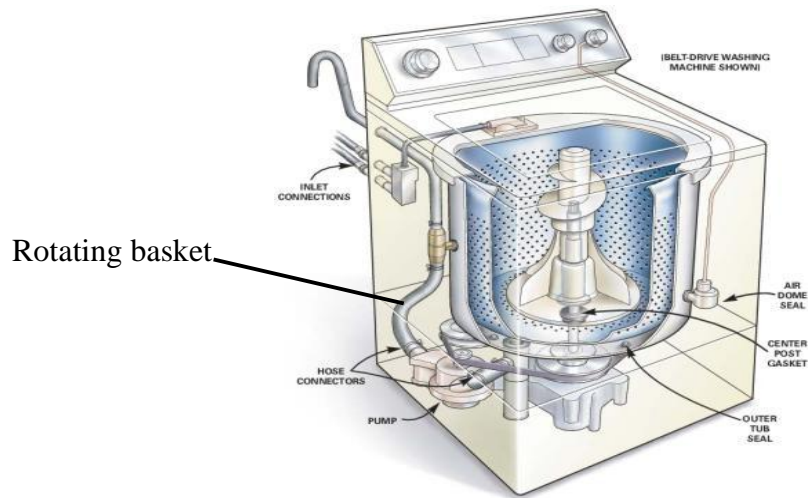


Figure 2/Rajah 2

(100 marks/markah)

3. (a) Consider the system shown in Figure 3(a).

Pertimbangkan sistem seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3(a).

$$m_1 = 4 \text{ kg}, m_2 = 1 \text{ kg}, k_1 = 3 \text{ N/m}; k_2 = 1 \text{ N/m}.$$

- (i) Sketch the free body diagrams of m_1 and m_2

Lukis rajah jasad bebas bagi m_1 dan m_2 .

- (ii) Determine the equations of motions for m_1 and m_2 as a matrix equation with K and M matrices.

Tentukan persamaan-persamaan pergerakan bagi m_1 dan m_2 sebagai persamaan matriks dengan matriks-matriks K dan M.

- (iii) Derive the characteristic equation of the system by setting it as an eigenvalue problem.

Terbitkan persamaan ciri sistem dengan cara menyelesaikan melalui permasalahan nilai eigen.

- (iv) Solve the above problem and use the results to sketch the principal modes of the vibration.

Lakarkan bentuk-bentuk mod getaran.

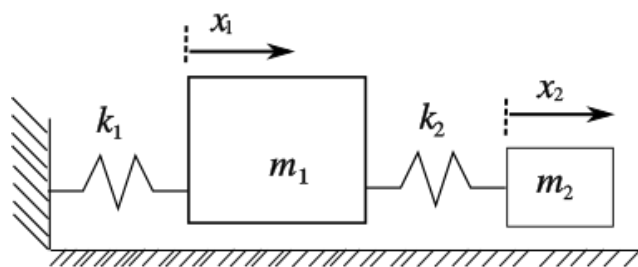


Figure 3(a)/Rajah 3(a)

(70 marks/markah)

- (b) A Stockbridge damper as depicted in Figure 3(b) is a damper that is commonly used to suppress wind-induced vibrations on power lines using the principle of dynamic vibration absorption. By way of 2-DOF model, free body diagram, and relevant plots, explain the disadvantages of this damper system.

Peredam Stockbridge seperti yang tertera di dalam Rajah 3(b) adalah peredam yang biasa digunakan untuk mengurangkan getaran kabel kuasa disebabkan oleh tiupan angin. Dengan menggunakan model 2 darjah kebebasan, gambarajah jasad bebas, serta plot-plot yang berkaitan, terangkan kekurangan-kekurangan sistem redaman ini.

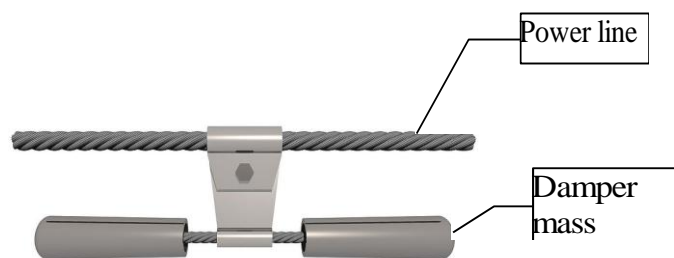


Figure 3(b)/Rajah 3(b)

(30 marks/markah)

4. (a) Figure 4 shows a cart and pendulum system. The mass of the cart is M and connected to a spring of stiffness k and damping c . It is subjected to a force f and the displacement of the centre of the mass is represented by x_1 . The pendulum is a slender beam of length ℓ with mass m and the centre of gravity located at point C with the distance a from the pivot. x_2 is the linear displacement of point C while θ is the rotational angle of the pendulum. The pendulum is subjected to torque T .

Rajah 4 menunjukkan satu sistem troli dan ladung. Jisim troli tersebut ialah M dan dihubungkan kepada dinding dengan kekakuan k dan redaman c . Troli itu dikenakan daya f dan anjakan pusat jisim ditunjukkan oleh x_1 . Ladung tersebut adalah rasuk langsing sepanjang ℓ dengan jisim m dan pusat graviti rasuk adalah pada titik C digugurkan jarak a dari pangsi. x_2 adalah anjakan linear bagi titik C sementara θ adalah satu putaran ladung. Ladung tersebut dikenakan kilas T .

- (i) Choose the generalized coordinate system

Pilih satu sistem koordinat umum.

- (ii) Develop the expression for the kinetic and potential energies and the dissipative function

Terbitkan persamaan tenaga kinetik dan tenaga potensi serta fungsinya.

- (iii) Form the Lagrange equation for the system

Terbitkan persamaan Lagrange untuk sistem yang ditunjukkan.

(60 marks/markah)

- (b) Determine the condition in wing design where the heaving motion is decoupled from the pitching motion. Discuss briefly the significance of this decoupling effect in terms of flutter instability

Tentukan keadaan-keadaan di dalam rekabentuk sayap di mana gerakan melambung tidak digandingkan dengan gerakan mengangguk. Bincangkan dengan ringkas kesan nyah-gandingan ke atas ketidak stabilan kibar.

(20 marks/markah)

- (c) Describe one experimental technique to measure the critical speed for flutter also known as “flutter speed” using wind tunnel.

Huraikan satu kaedah ujikaji bagi menentukan kelajuan kritikal untuk kibar yang juga dikenali sebagai 'kelajuan kibar' menggunakan terowong angin.

(20 marks/ markah)

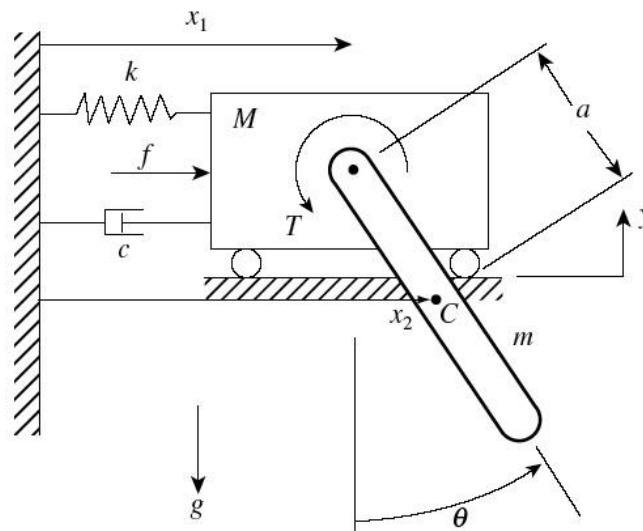


Figure 4/Rajah4

5. The Laplace Transform can be used to determine the transfer function of a dynamic system and it is one of the methods apart from the solution in time domain to determine the response of the system for any given input.

Kaedah jelmaan Laplace boleh digunakan untuk menentukan rangkap pindah bagi sebuah sistem dinamik dan ianya merupakan satu kaedah selain daripada penyelesaian di dalam domain masa untuk menentukan tindakbalas sistem bila dikenakan sebarang bentuk daya.

- (i) In your opinion in solving vibration problems, which method is preferable and why?

Pada pendapat anda di dalam menyelesaikan masalah getaran, kaedah manakah yang lebih mudah digunakan dan kenapa?

(10 marks/markah)

- (ii) Formulate the transfer function of a single degree of freedom system with mass m , stiffness k and damping c when subjected to a general forcing function, $f(t)$

Terbitkan rangkap pindah bagi sebuah system satu darjah kebebasan dengan jisim m , kekakuan k dan redaman c apabila dikenakan satu fungsi daya umum $f(t)$

(40 marks/markah)

- (iii) Figure 5 shows a two degree of freedom system where the first mass m_1 is subjected to force f_1 . Determine the transfer function for each mass. Neglect the effect of friction

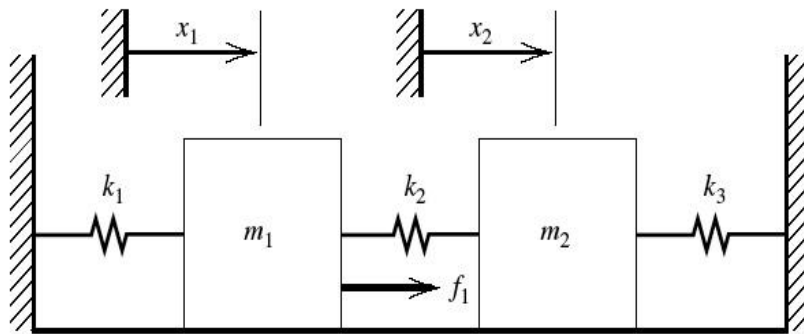
Rajah 5 menunjukkan sistem 2 darjah kebebasan di mana jisim m_1 dikenakan daya f_1 . Tentukan rangkap pindah bagi setiap jisim. Abaikan kesan gesaran.

(40 marks/markah)

- (iv) For the value of $m_1=m_2=1$ kg and $k_1=k_2=k_3=2$ N/m determine the poles and zeros for this system. Briefly describe the meaning of the value of poles and zeros obtained.

Bagi nilai-nilai di mana $m_1=m_2=1$ kg dan $k_1=k_2=k_3=2$ N/m tentukan kutub dan sifar bagi sistem ini. Nyatakan dengan ringkas makna daripada nilai-nilai kutub dan sifar yang diperolehi.

(10 marks/markah)



Rajah 5 /Figure 5

6. (a) Machine condition monitoring plan is usually based on vibration monitoring in order to ensure uninterrupted services and can also be used for structural health monitoring and any shut down for maintenance can be carried out in an orderly and planned manner. Discuss the following diagnostic technique and for each technique sketch the frequency signals and the meaning of the peaks in those signals.

Pelan pengawasan keadaan mesin biasanya dibuat berasaskan pengawasan getaran untuk memastikan perkhidmatan tidak terjejas dan boleh juga digunakan untuk pengawasan kesihatan struktur dan sebarang penutupan untuk penyelenggaraan boleh dilakukan dengan terancang dan teratur. Bincangkan keadaan diagnostik berikut dan bagi setiap teknik lakarkan isyarat frekuensi yang akan diperolehi dan makna bagi puncak-puncak yang terdapat di dalam isyarat tersebut.

- (i) Order tracking

Pengesanan tertib

- (ii) Envelope Analysis

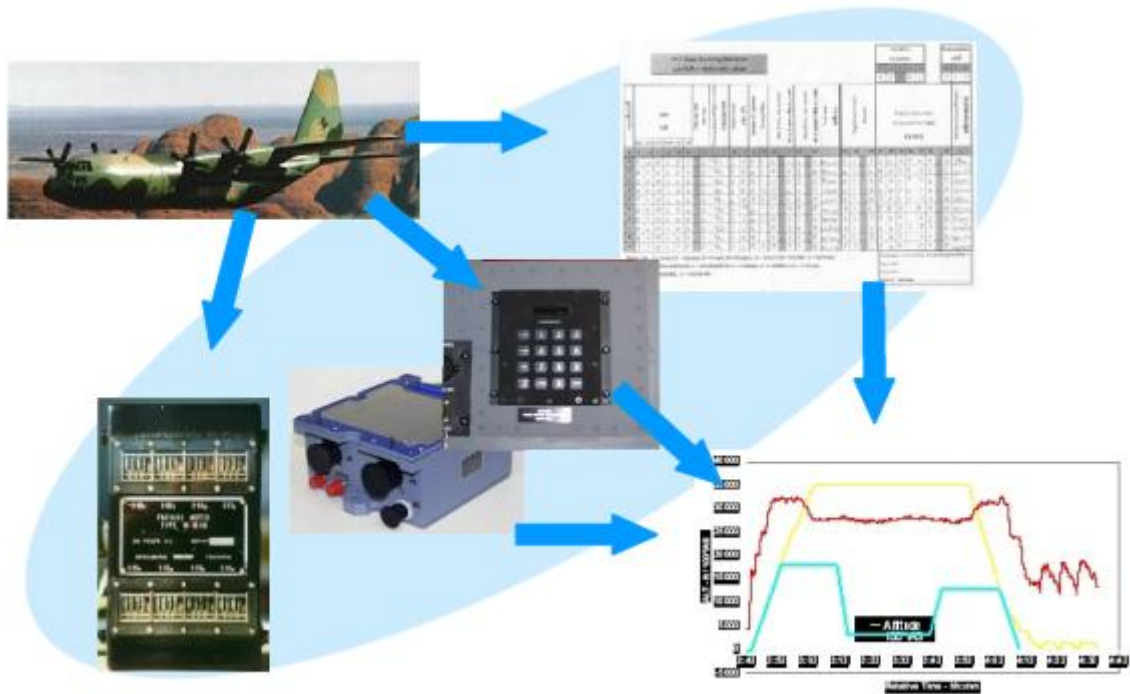
Analisis sampul

(60 marks/markah)

- (b) The aero structure is subjected to fatigue and structural health monitoring forms an important part of the aircraft structural integrity programme. Develop a plan for the implementation of Structural Health Monitoring for a transport aircraft as shown in Figure 6 focusing on the fatigue. Your plan should include the sensors needed for load monitoring, damage monitoring and system monitoring.

Struktur aero akan mengalami kelesuan dan pengawasan kesihatan struktur adalah penting untuk program integriti struktur pesawat. Bangunkan satu plan untuk melaksanakan Pengawasan Kesihatan Struktur bagi pesawat pengangkut seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 6. Plan anda mestilah menyatakan penderia yang digunakan untuk pengawasan beban, pengawasan kerosakan dan pengawasan sistem.

(40 marks/markah)

Rajah 6/*Figure 6*

-oooOOooo-